

Kaji Eksperimental Turbin Air Tipe *Undershot* Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Dipasang Secara Seri Pada Saluran Irigasi

Riko Fernando¹, Asral²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km.12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

¹fernandoriko541@gmail.com, ²asral@lecturer.unri.ac.id

Abstract

The irrigation canal available throughout the Tarmland in Province of Riau. The irrigation system can be utilized as hydropower generation even if the possibility can only move a small-scale water turbine, but when made in large quantities would produce large amounts of energy. In this study tested the water turbine type undershot with installation of turbines in series on the flow of irrigation and compare them with the installation of turbine singly. From the testing that has been done the efficiency of turbines produced at the time of testing in series lower than in a single test, this is because at the time of testing the water flowing series obstructed by the second turbine, thus making the water flow is not smooth. The highest power generated main turbine installed in series is 153.66 Watt on water flow of $0.308 \text{ m}^3/\text{s}$, the highest power generated while the main turbine installed singly is 196.25 Watt on water flow of $0.308 \text{ m}^3/\text{s}$.

Keywords: *Irrigation canal, Undershot Water Turbine, series Tested.*

1. Pendahuluan

Minyak bumi (bahan bakar fosil) merupakan sumber utama pemakaian energi di dalam negeri, penggunaannya terus meningkat, sedang jumlah persediaan terbatas. Oleh karena itu perlu diambil langkah-langkah penghematan minyak bumi (bahan bakar fosil) di satu pihak dan di pihak lain perlu dilakukan pengembangan-pengembangan sumber energi lainnya, seperti PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro) dan PLTPH (Pembangkit Listrik Tenaga Picho-Hydro) [1].

Energi air sebagai salah satu sumber energi terbarukan mempunyai potensi yang besar untuk memecahkan masalah ketergantungan terhadap minyak bumi (bahan bakar fosil), salah satunya adalah energi air yang terdapat pada aliran irigasi. Irigasi biasanya bermanfaat untuk sarana pengairan lahan pertanian, pada irigasi air mengalir secara alami dari sumber air menuju lahan pertanian melalui saluran-saluran irigasi yang telah dibuat dari proyek pemerintah maupun swadaya masyarakat [2].

Saluran irigasi tersebar hampir diseluruh wilayah Indonesia, salah satunya di Provinsi Riau. Di Provinsi Riau sendiri terdapat sepanjang 8500 km saluran irigasi, walaupun 80% nya rusak atau tidak berfungsi untuk mengairi lahan pertanian [2]. Saluran irigasi yang panjang tersebut memiliki potensi yang sangat besar jika dimanfaatkan untuk pembangkit listrik skala kecil menengah (PLTMH dan PLTPH).

Energi potensial dan energi kinetik pada aliran air irigasi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi mekanik dengan menggunakan turbin. Walaupun kemungkinannya hanya bisa

menggerakkan turbin air skala kecil, namun apabila turbin dibuat dalam jumlah yang banyak tentu akan menghasilkan energi dalam jumlah yang besar juga. Di dalam turbin energi potensial dan kinetik air dirubah menjadi energi mekanik, dimana air memutar roda turbin [3]. Energi putaran yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator [4].

Pemilihan turbin sangat bergantung pada keadaan di lapangan seperti head ketinggian dan debit aliran. Turbin air tipe *Breathshot* dan *Undershot* cocok digunakan untuk head yang kecil, walaupun turbin jenis ini dalam operasinya akan mengalami dua rugi-rugi efisiensi, yaitu rugi-rugi *inlet* karena geometri roda turbin dan kedua rugi-rugi gesekan aliran melewati sudu turbin [5].

Sule, L melakukan penelitian tentang kinerja roda air arus bawah 6 sudu plat datar dengan variasi debit aliran sebagai pembangkit tenaga listrik. Dari pengujian diperoleh efisiensi terbaik roda air adalah 48,757% pada debit (Q) = $0,02066 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan beban (n) lampu = 1 buah lampu 25 volt, 42,2 % dengan beban (n) lampu = 2 buah, 24,2 % dengan beban (n) lampu = 3 buah, dan 12,5% dengan beban (n) lampu 4 buah. Dari hasil terlihat bahwa semakin besar pembebanan pada generator, maka efisiensi instalasi semakin kecil dan akhirnya roda air tidak mampu bergerak lagi pada debit yang sama [6].

Putu melakukan penelitian tentang pemanfaatan saluran irigasi untuk pembangkit piko-hidro di Dusun Pagi Penebel, Tabanan, Bali. Piko-hidro yang dirancang dalam penelitian ini terbukti mampu menghasilkan rpm tubin yang maksimal sebesar 130 rpm. Sedangkan rata-rata

rpm turbin sebesar 129,75 rpm didapatkan bila tower air dalam kondisi penuh, yang dapat diasumsikan dalam kondisi musim hujan. Untuk mampu menghasilkan putaran pada generator dengan rpm sebesar 1500 rpm, maka perkalian antar puli turbin dan puli generator dengan rasio perbandingan 1 : 12 [7].

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian untuk mengetahui prestasi turbin air tipe *undershot* dipasang secara seri pada saluran irigasi, serta membandingkannya dengan pemasangan turbin secara tunggal. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui apakah dengan pemasangan turbin secara seri dapat menaikkan atau menurunkan efisiensi turbin serta daya yang dihasilkan, yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

2. Metode

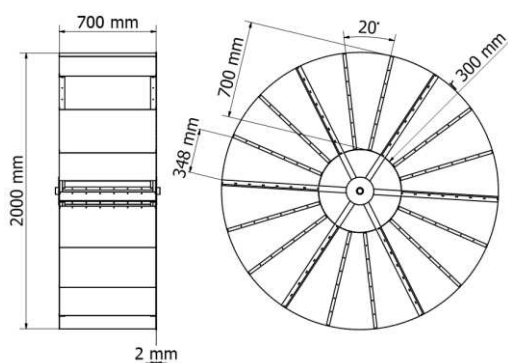
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu dengan melakukan pengujian secara langsung di lapangan untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris. Data hasil eksperimen yang diperoleh selanjutnya dianalisa untuk mengetahui daya dan efisiensi turbin air, yang diuji dengan pemasangan turbin secara seri dan tunggal.

2.1 Spesifikasi Turbin

Pada penelitian ini digunakan dua buah turbin air tipe *undershot*, yaitu turbin utama dan turbin kedua. Adapun spesifikasi dan dimensi turbin utama dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Utama

Spesifikasi	Parameter
Diameter luar turbin (D_1)	2 m
Diameter dalam turbin (D_2)	0,6 m
Lebar turbin = Lebar sudu turbin (l)	0,7 m
Panjang sudu (P)	0,7 m
Jumlah sudu (N)	18 buah
Diameter poros (D_s)	38,1 mm
Sudut sudu turbin (θ)	20°
Jarak antar sudu	348 mm
Tebal sudu	2 mm

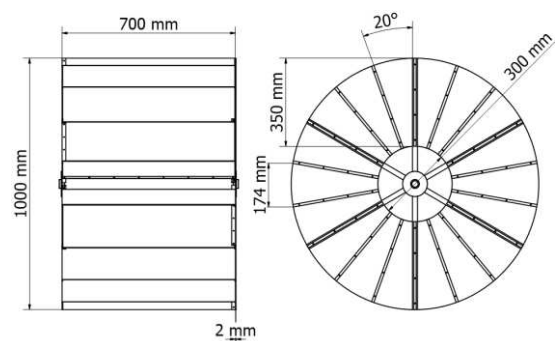


Gambar 1. Dimensi Turbin Utama

Sedangkan untuk spesifikasi dan dimensi turbin kedua dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Kedua

Spesifikasi	Parameter
Diameter luar turbin (D_1)	1 m
Diameter dalam turbin (D_2)	0,3 m
Lebar turbin = Lebar sudu turbin (l)	0,7 m
Panjang sudu (P)	0,35 m
Jumlah sudu (N)	18 buah
Diameter poros (D_s)	25,4 mm
Sudut sudu turbin (θ)	20°
Jarak antar sudu	174 mm
Tebal sudu	2 mm



Gambar 2. Dimensi Turbin Kedua

2.2 Pengujian Turbin

Pengujian dilaksanakan langsung di lapangan, yaitu tepatnya di desa Koto Tibun, Kec. Kampar, Kab. Kampar. Adapun variabel pengujian yang dilakukan adalah:

1. Debit (Q) aliran irigasi, debit (Q) aliran irigasi divariasikan dengan mengatur tinggi air aliran irigasi. Tinggi air dikontrol dengan mengatur bukaan pintu air bendungan utama.
2. Pengujian turbin utama dan turbin kedua dengan pemasangan secara seri pada saluran irigasi.
3. Pengujian turbin utama dengan pemasangan secara tunggal dan pengujian turbin kedua secara tunggal pada saluran irigasi.

Adapun pengambilan data pengujian yang dilakukan adalah:

1. Waktu alir pelampung (t)
2. Luas Penampang Saluran irigasi (A)
3. Kecepatan aliran irigasi (v)
4. Putaran poros generator (n_t)
5. Putaran poros transmisi (n_{tm})
6. Putaran poros generator (n_g)
7. Tegangan generator (V)
8. Kuat arus (I).

Skematik pengujian turbin dipasang secara seri dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Pengujian Turbin Seri

2.3 Pengolahan Data Pengujian

Setelah didapatkan parameter-parameter data hasil pengujian yang diinginkan, maka dilakukan analisis untuk mengetahui sebab-sebab yang berpengaruh pada data yang didapatkan. Adapun parameter-parameter yang akan dihitung adalah:

1. Debit (Q)

Debit dapat diartikan sebagai volume air yang mengalir setiap detik (m^3/s), dimana debit air dapat dicari dengan persamaan berikut ini [8].

$$Q = A \cdot v \quad (1)$$

Dimana A adalah luas penampang basah irigasi (m^2), dan v adalah kecepatan aliran irigasi (m/s).

2. Daya Air (P_h)

Karena daya air ini berasal dari energi air jatuh (energi potensial) dan energi air mengalir (energi kinetik), maka besarnya daya air yang merupakan potensi sumber energi air pada suatu wilayah ditentukan melalui persamaan berikut ini [9].

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2)$$

Dimana ρ adalah masa jenis air (kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi bumi (m/s^2), dan h adalah head air (m).

3. Daya listrik (P_e)

Daya listrik didefinisikan sebagai produk dari tegangan dan kuat arus setelah mengalami pembebanan yang diformulasikan dengan persamaan berikut ini [10].

$$P_e = V \times I \quad (3)$$

Dimana V adalah tegangan (Volt) dan I adalah kuat arus (Ampere).

4. Efisiensi Sistem (η_s)

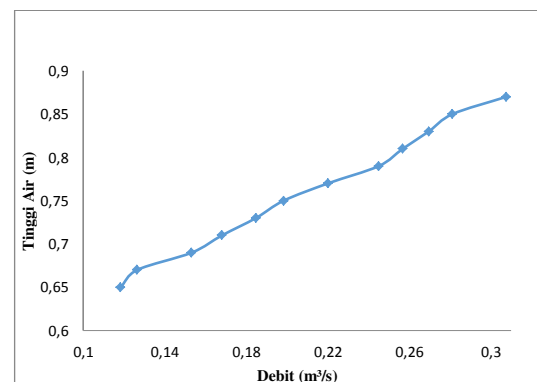
Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan turbin (P_e) dengan daya air (P_h) [11].

$$\eta_s = \frac{\text{Daya Listrik } (P_e)}{\text{Daya Air } (P_h)} \times 100\% \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hubungan Tinggi Air (d) Dengan Debit (Q)

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara tinggi air aliran irigasi dengan debit aliran irigasi.

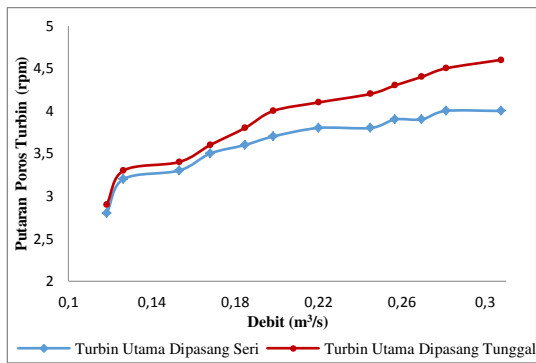


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Tinggi Air dengan Debit

Dari grafik dapat dilihat bahwa debit terendah diperoleh pada ketinggian air 0,65 m dengan debit 0,118 m^3/s . Sedangkan debit tertinggi diperoleh pada ketinggian air 0,87 m dengan debit 0,308 m^3/s . Semakin tinggi air aliran irigasi maka debit aliran irigasi juga akan bertambah tinggi. Tinggi air aliran irigasi mempengaruhi debit aliran irigasi, dimana semakin tinggi aliran irigasi maka luas penampang basa aliran irigasi akan semakin tinggi juga. Hal ini sesuai dengan persamaan $Q = v \times A$, dimana debit (Q) berbanding lurus dengan kecepatan aliran air (v) dan luas penampang basah aliran air (A).

3.2 Hubungan Debit (Q) Dengan Putaran Poros Turbin (n_t)

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan debit (Q) dengan putaran poros turbin utama. Dari gambar dapat dilihat bahwa debit (Q) aliran irigasi mempengaruhi kecepatan putaran poros turbin. Semakin tinggi debit (Q) aliran irigasi, maka kecepatan putaran poros turbin utama akan semakin tinggi juga. Semakin tinggi debit (Q) aliran irigasi, maka energi air yang masuk kedalam turbin akan semakin tinggi juga, hal ini lah yang mengakibatkan putaran poros turbin semakin tinggi.

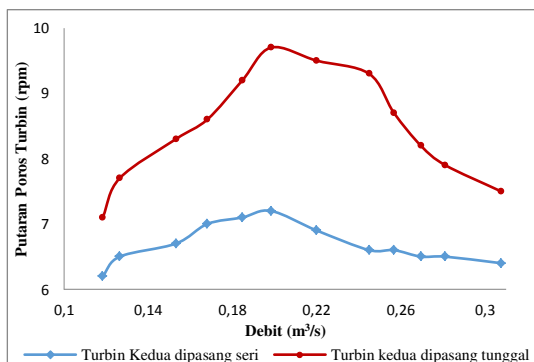


Gambar 5. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Putaran Poros Turbin Utama (n_t)

Untuk debit (Q) yang sama, kecepatan putaran poros turbin utama dipasang seri lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan putaran poros turbin utama dipasang tunggal. Pada saat debit terendah 0,118 m^3/s , kecepatan putaran poros turbin utama dipasang secara seri 2,8 rpm dan kecepatan putaran poros turbin utama dipasang secara tunggal 2,9 rpm. Sedangkan pada saat debit tertinggi 0,308 m^3/s , kecepatan putaran poros turbin utama dipasang secara seri 4 rpm dan kecepatan putaran poros turbin utama dipasang secara tunggal 4,6 rpm. Hal ini karena aliran air pada saat pengujian turbin utama dipasang secara seri tertahan oleh turbin kedua atau dengan kata lain aliran air menjadi tidak lancar.

Berbeda halnya dengan turbin utama, kecepatan putaran poros turbin kedua tertinggi tidak terjadi pada saat variasi debit (Q) tertinggi. Kecepatan putaran poros turbin kedua tertinggi terjadi pada saat variasi debit (Q) 0,198 m^3/s yaitu 7,2 rpm untuk pemasangan turbin secara seri dan 9,7 rpm untuk pemasangan turbin secara tunggal (Gambar 6).

Pada awalnya semakin tinggi debit (Q) aliran irigasi maka kecepatan putaran poros turbin akan semakin tinggi juga. Akan tetapi pada saat variasi debit diatas 0,198 m^3/s , kecepatan putaran poros turbin berangsur-angsur menurun. Hal ini dikarenakan debit 0,198 m^3/s adalah batas debit air maksimum yang bisa diubah oleh sudu turbin menjadi putaran.



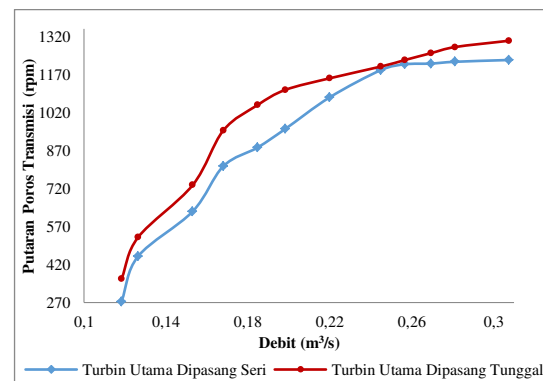
Gambar 6. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Putaran Poros Turbin Kedua (n_t)

Walau pun kecepatan putaran poros turbin semakin menurun, akan tetapi torsi yang dimiliki turbin semakin meningkat. Hal itu dikarenakan semakin bertambahnya gaya tangensial yang diakibatkan oleh energi air yang mengalir mengenai sudu turbin seiring dengan bertambahnya debit aliran irigasi.

Sama halnya dengan turbin utama, pemasangan turbin kedua secara seri mengakibatkan kecepatan putaran poros turbin kedua lebih rendah dibandingkan dengan pemasangan turbin kedua secara tunggal. Pada saat variasi debit terendah 0,118 m^3/s kecepatan putaran poros turbin kedua dipasang secara seri 6,2 rpm dan kecepatan putaran poros turbin kedua dipasang secara tunggal 7,1 rpm. Sedangkan pada saat variasi debit tertinggi 0,308 m^3/s kecepatan putaran poros turbin kedua dipasang secara seri 6,4 rpm dan kecepatan putaran poros turbin kedua dipasang secara tunggal 7,5 rpm.

3.3 Hubungan Debit (Q) Dengan Putaran Poros Transmisi (n_{tm})

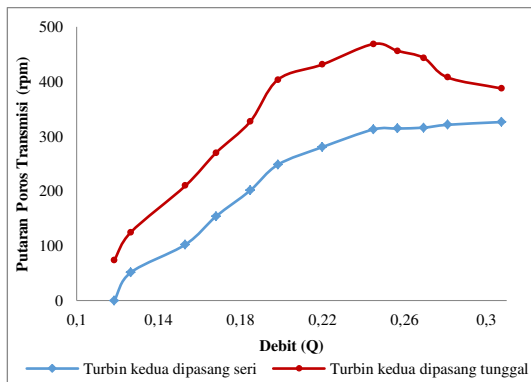
Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan debit (Q) dengan putaran poros transmisi (n_{tm}) turbin utama. Sama halnya dengan grafik hubungan debit (Q) dengan kecepatan putaran poros turbin (n_t), semakin tinggi debit (Q) aliran irigasi maka kecepatan putaran poros transmisi akan semakin tinggi juga.



Gambar 7. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Putaran Poros Transmisi (n_{tm}) Turbin Utama

Untuk tinggi air yang sama kecepatan putaran poros transmisi turbin utama dipasang seri lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan putaran poros transmisi turbin utama dipasang tunggal. Pada saat debit terendah 0,118 m^3/s , kecepatan putaran poros transmisi turbin utama dipasang secara seri 274,6 rpm dan kecepatan putaran poros transmisi turbin utama dipasang secara tunggal 363,6 rpm. Sedangkan pada saat debit tertinggi 0,308 m^3/s , kecepatan putaran poros transmisi turbin utama dipasang secara seri 1227 rpm dan kecepatan putaran poros transmisi turbin utama dipasang secara tunggal 1303 rpm.

Sama halnya dengan turbin utama, untuk debit (Q) yang sama kecepatan putaran transmisi turbin kedua dipasang secara seri lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan putaran transmisi turbin kedua dipasang secara tunggal (Gambar 8).

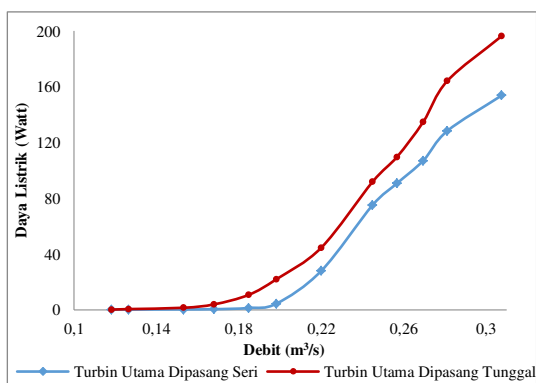


Gambar 8. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Putaran Poros Transmisi (n_t) Turbin Kedua

Pada saat variasi debit terendah $0,118 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan putaran poros transmisi turbin kedua dipasang secara seri 0 rpm atau turbin tidak berputar dan kecepatan putaran transmisi turbin kedua dipasang secara tunggal 73,5 rpm. Sedangkan pada saat variasi debit tertinggi $0,308 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan putaran poros turbin kedua dipasang secara seri 326,1 rpm dan kecepatan putaran poros turbin kedua dipasang secara tunggal 387,3 rpm. Kecepatan tertinggi putaran poros turbin kedua dipasang secara tunggal adalah 468,6 rpm pada saat variasi debit $0,245 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.4 Hubungan Debit (Q) Dengan Daya Listrik (P_e)

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan debit (Q) dengan daya listrik (P_e) turbin utama. Untuk debit (Q) yang sama daya listrik turbin utama (P_e) dipasang secara seri lebih rendah dibandingkan dengan daya listrik (P_e) turbin utama dipasang secara tunggal.

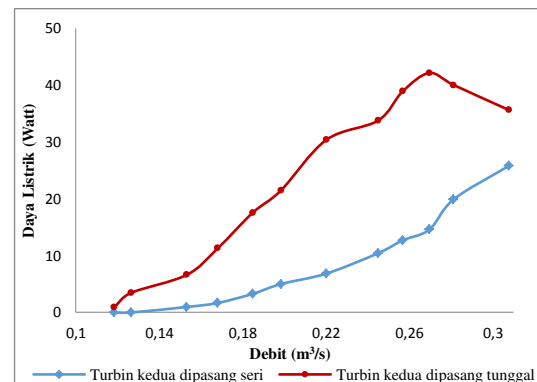


Gambar 9. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Daya Listrik (P_e) Turbin Utama

Pada saat variasi debit terendah $0,118 \text{ m}^3/\text{s}$, daya listrik (P_e) turbin utama dipasang secara seri

$0,02 \text{ Watt}$ dan daya listrik (P_e) turbin utama dipasang secara tunggal $0,05 \text{ Watt}$. Sedangkan pada saat variasi debit tertinggi $0,308 \text{ m}^3/\text{s}$, daya listrik (P_e) turbin utama dipasang secara seri $153,66 \text{ Watt}$ dan daya listrik (P_e) turbin utama dipasang secara tunggal $196,25 \text{ Watt}$.

Sama halnya dengan turbin utama, untuk variasi debit (Q) yang sama daya listrik (P_e) turbin kedua dipasang secara seri lebih rendah dibandingkan dengan daya listrik (P_e) turbin kedua dipasang secara tunggal (Gambar 10).

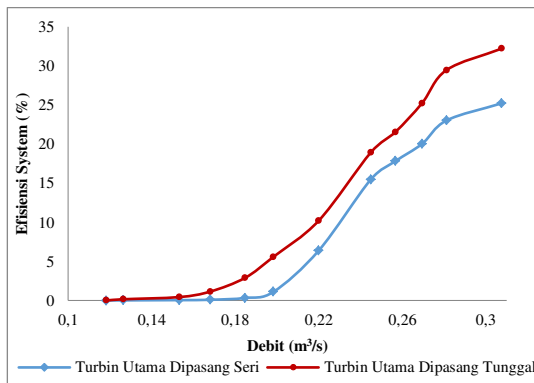


Gambar 10. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Daya Listrik (P_e) Turbin Kedua

Pada saat variasi debit terendah $0,118 \text{ m}^3/\text{s}$, daya listrik (P_e) turbin kedua dipasang secara seri 0 Watt yang disebabkan oleh tidak mempunya daya air untuk memutar turbin yang terhubung dengan transmisi dan generator, sedangkan daya listrik (P_e) turbin kedua dipasang secara tunggal $0,93 \text{ Watt}$. Pada saat variasi debit tertinggi $0,308 \text{ m}^3/\text{s}$, daya listrik (P_e) turbin kedua dipasang secara seri $25,78 \text{ Watt}$ dan daya listrik (P_e) turbin kedua dipasang secara tunggal $35,60 \text{ Watt}$. Daya listrik (P_e) tertinggi yang dihasilkan turbin kedua dipasang secara tunggal adalah $42,12 \text{ Watt}$ pada saat variasi debit $0,270 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.5 Hubungan Debit (Q) Dengan Efisiensi Sistem (η_s)

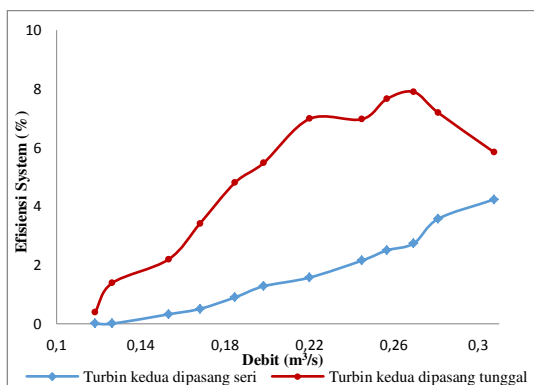
Gambar 11 menunjukkan grafik hubungan efisiensi sistem (η_s) pembangkit listrik tenaga air dengan debit (Q), yang telah diuji dengan pemasangan turbin secara seri dan tunggal pada saluran irigasi. Efisiensi system adalah perbandingan antara daya listrik (P_e) yang dihasilkan generator setelah diberi pembebanan dengan potensi daya air (P_h).



Gambar 11. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Efisiensi Sistem (η_s)

Untuk tinggi air yang sama, efisiensi sistem (η_s) turbin utama dipasang secara seri lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi sistem (η_s) turbin utama dipasang secara tunggal. Efisiensi sistem tertinggi turbin utama dipasang secara seri adalah 25,21 % pada saat variasi debit 0,308 m³/s. Sedangkan efisiensi sistem tertinggi turbin utama dipasang secara tunggal adalah 32,20 % pada saat variasi debit 0,308 m³/s juga. Pemasangan turbin utama secara seri pada aliran irigasi mengakibatkan penurunan efisiensi sistem turbin rata-rata 3,2 % untuk setiap variasi debit yang diuji.

Sama halnya dengan turbin utama, untuk debit (Q) yang sama efisiensi sistem turbin kedua (η_k) dipasang secara seri lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi sistem turbin kedua (η_k) dipasang secara tunggal (Gambar 12).



Gambar 12. Grafik Hubungan Debit (Q) Dengan Efisiensi Sistem (η_s)

Efisiensi tertinggi turbin kedua dipasang secara seri adalah 4,23 % pada saat variasi debit 0,308 m³/s. Sedangkan efisiensi tertinggi turbin kedua dipasang secara tunggal adalah 7,89 % pada saat variasi debit 0,270 m³/s. Pemasangan turbin kedua secara seri pada saluran irigasi mengakibatkan penurunan efisiensi sistem turbin kedua rata-rata 3,37 % untuk setiap variasi debit yang diuji.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya listrik dan efisiensi sistem yang dihasilkan turbin utama dan turbin kedua akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya debit aliran irigasi.
2. Pemasangan turbin utama dan turbin kedua secara seri menghasilkan rata-rata daya listrik dan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan pemasangan turbin utama dan turbin kedua secara tunggal.
3. Daya listrik tertinggi yang dihasilkan turbin utama dipasang secara seri adalah 153,66 Watt pada saat debit aliran 0,308 m³/s. Sedangkan daya listrik tertinggi yang dihasilkan turbin utama dipasang secara tunggal adalah 196,25 Watt pada saat debit aliran 0,308 m³/s.
4. Daya listrik tertinggi yang dihasilkan turbin kedua dipasang secara seri adalah 25,78 Watt pada saat debit aliran 0,308 m³/s. Sedangkan daya listrik tertinggi yang dihasilkan turbin kedua dipasang secara tunggal adalah 42,12 Watt pada saat debit aliran 0,270 m³/s.
5. Efisiensi sistem tertinggi turbin utama dipasang secara seri adalah 25,21% pada saat debit aliran 0,308 m³/s. Sedangkan efisiensi sistem tertinggi turbin utama dipasang secara tunggal adalah 32,20% pada saat debit aliran 0,308 m³/s juga.
6. Efisiensi sistem tertinggi turbin kedua dipasang secara seri adalah 4,23% pada saat debit aliran 0,308 m³/s. Sedangkan efisiensi sistem tertinggi turbin kedua dipasang secara tunggal adalah 7,89% saat debit aliran 0,270 m³/s.
7. Pemasangan turbin secara seri mengakibatkan penurunan efisiensi sistem pada turbin utama rata-rata 3,2% dan turbin kedua 3,37% untuk setiap variasi debit yang diuji jika dibandingkan dengan pemasangan turbin secara tunggal.

Daftar Pustaka

- [1] Warsito, S., Abdul Syakur dan Agus Adhi Nugroho. 2005. "Studi Awal Perencanaan Sistem Mekanikal Dan Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro". Seminar Teknik Ketenaga Listrik, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro.
- [2] Butera, Ilaria, dan Roberto Balestra. 2015. "Estimation Of The Hydropower Potential Of Irrigation Networks, Renewable And Sustainable Energy Reviews". Int.Jurnal, 48, 140–151.
- [3] Arismunandar, Wiranto. 1982. "Penggerak Mula Turbin". Bandung: penerbit ITB.

- [4] Luknanto, D. 2008. "*Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air*". Surabaya: ITS.
- [5] Williamson, S.J, Stark, B.H, dan Booker, J.D. 2014. "*Low Head Pico Hydro Turbine Selection Using a Multi-Criteria Analysis*". *Renewable Energy*, Int. Jurnal, 61,43-50.
- [6] Sule, Luther, dan Mukhtar Rahman. 2014. "*Kinerja Roda Air Arus Bawah 6 Sudu Plat Datar Dengan Variasi Debit Aliran Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik*". Prosending Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII, 2014.
- [7] Putu I, Ardana., Dan Jasa, Lie. 2016. "*Pemanfaatan Saluran Irigasi Untuk Pembangkit Picohydro Di Dusun Pagi Penebel Tabanan*", Jurnal Teknik Elektro, Universitas Udayana. Vol 15, No 1.
- [8] Munson, Bruce R., Donald F. Young, Throdore H. Okiishi, Dr. Ir. Harnaldi, dan Ir. Budiarmo, M.Eng (Penerjemah). 2003. "*Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 2*". Penerbit: Erlangga.
- [9] Wibawa, Unggul. 2001. "*Sumber Daya Energi Alternatif*". Malang: Universitas Brawijaya
- [10] Govindasamy, K. 2010. "*Electrical machines and appliances*". Chennai: Government of Tamilnadu.
- [11] Wahyudi, Slamet, Dhimas Nur Chayadi dan Purnami. 2012. "*Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar*". Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 2: 337-342.